

Aus der Pharmakologischen Anstalt der Universität Basel
Direktor: Prof. Dr. med. K. Bucher

Vagale Atmungssteuerung aus Zwerchfell und Abdomen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät der Universität Basel

Vorgelegt von
BERNHARD GRÜNINGER
von Degersheim (St. Gallen)

1955

Druck von Benno Schwabe & Co.

Basel

Aus der Pharmakologischen Anstalt der Universität Basel
Direktor: Prof. Dr. med. K. Bucher

Vagale Atmungssteuerung aus Zwerchfell und Abdomen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät der Universität Basel

Vorgelegt von
BERNHARD GRÜNINGER
von Degersheim (St. Gallen)

1955

Druck von Benno Schwabe & Co.

Basel

Von der Medizinischen Fakultät Basel genehmigt auf Antrag von
Professor Dr. med. K. Bucher

Tag der Promotion: 24. November 1955



Erschienen in «Helv. Physiol. Acta» Vol. 13, 1955, Fasc. 4

Als vagale Atmungsreflexe bezeichnet man gemeinhin solche, die nach Vagotomie verschwinden. Als Träger der zuständigen reflexogenen Zonen ist bisher eigentlich nur die Lunge betrachtet worden. Es wurde aber schon von verschiedener Seite darauf hingewiesen [4, 9, u. a.], daß auch Afferenzen aus Brustwand, Zwerchfell und Abdomen das Reflexverhalten modifizieren können. Über ihren zentripetalen Weg und ihre Bedeutung ist nichts bekannt. In dieser Arbeit soll versucht werden, den Anteil des Lungen- und Brustvagus, des Zwerchfellvagus und des Bauchvagus am Zustandekommen einiger vagaler Atmungsreflexe quantitativ zu erfassen. Wir haben zu diesem Zwecke untersucht, inwiefern die betreffenden Atmungsreflexe durch thorakale oder abdominale Vagotomie modifiziert werden.

Methode

Bei einer ersten Gruppe von Tieren wurden die gewählten vagalen Atmungseffekte bei vollständig intakten Vagi analysiert. Bei einer zweiten Gruppe wurden vorgängig die Vagi unmittelbar oberhalb, und bei einer dritten Gruppe unmittelbar unterhalb des Zwerchfells durchtrennt. Allfällige Unterschiede im Reflexverhalten zwischen der zweiten und dritten Gruppe können durch den Zwerchfell- oder/und Abdominalvagus bedingt sein. Was von diesen Unterschieden in der dritten Gruppe noch vorhanden ist, muß vom Zwerchfellvagus stammen.

An vagalen Atmungseffekten haben wir untersucht:

a) Den Einfluß einer Lageänderung des Versuchstieres (Schräglage mit Kopf hoch und Kopf tief) auf relative Inspirationsdauer (d. h. Anteil der Inspiration am Gesamtatemzug), Atmungsfrequenz, Atemzugsvolumen, Atemminutenvolumen und Atemlage.

b) Die *Head'schen* [3, 7, 8, 10] Tracheaverschlußreaktionen – bestimmt nach [11] – in expiratorischer Atemruhe- und inspiratorischer Atemendlage (sogenannte inspiratorische und expiratorische Trachealverschlußreaktionen: VI und VE).

c) Den Einfluß eines äußeren zirkulären Thoraxdruckes auf relative Inspirationsdauer, Atmungsfrequenz, Atemzugs- und Atemminutenvolumen.

Im Einzelnen sind wir folgendermaßen vorgegangen:

Zu den Versuchen wurden 2–3 kg schwere Kaninchen beiderlei Geschlechtes in tiefer Urethannarkose (1,4 g/kg, 20%, s.c.) verwendet. Die Tiere wurden in 3 Gruppen eingeteilt:

1. 10 Normaltiere, d. h. Tiere mit intakten Vagi.
2. 10 thorakal vagotomierte Tiere, d. h. Tiere, denen die Vagi unmittelbar oberhalb des Zwerchfells durchtrennt worden waren.
3. 10 abdominal vagotomierte Tiere, d. h. Tiere, denen die Vagi unmittelbar unterhalb des Zwerchfells durchtrennt worden waren.

Unterhalb der Bifurcatio tracheae teilt sich der Vagus in mehrere dem Oesophagus dicht anliegende Äste auf. Um sicher alle Vagusäste zu erfassen, wurde den Tieren der 2. und 3. Gruppe jeweils der Oesophagus mitsamt den Vagusästen durchtrennt.

Die für die thorakale Vagotomie erforderliche Operation ist ein ziemlich schwerer Eingriff, der möglicherweise an sich schon Unterschiede im Reflexverhalten gegenüber der Kontrollgruppe 1 hätte verursachen können. Wir haben deshalb auch die Tiere der 1. Gruppe thorakotomiert und ihnen, ohne die Vagi zu verletzen, einen ca. 1,5 cm langen Abschnitt der Speiseröhre oberhalb des Zwerchfells stumpf vom Mediastinalgewebe freipräpariert.

Den Tieren der 1. Gruppe – d. h. den Tieren für die Normalversuche – wurde zunächst eine Trachealkanüle eingebunden. Anschließend wurden sie unter künstlicher Beatmung folgendermaßen thorakotomiert: Nach Anlegen eines 4 cm langen Hautschnittes längs der linken 6. Rippe wurde die Thoraxwandmuskulatur stumpf abgeschoben, die 6. Rippe mit dem Thermokauter freipräpariert und die Pleurahöhle im 5. und 6. Intercostalraum eröffnet. Mit zwei Pinzetten wurde der Oesophagus auf einem Abschnitt von ca. 1,5 cm stumpf von seiner Mediastinalduplikatur freipräpariert. Die Thorakotomiewunde wurde wieder luftdicht verschlossen und der Pneumothorax abpunktiert. Der Eingriff dauerte ca. 50 Minuten. Nachher atmeten die Tiere wieder spontan.

Die Tiere der 2. Gruppe wurden zunächst wie oben beschrieben präpariert. Zusätzlich wurde ihnen der Oesophagus mitsamt den Vagi ca. 0,5 cm oberhalb des Zwerchfells zwischen zwei Nylonligaturen durchtrennt.

Die Tiere der 3. Gruppe wurden nach Kanülierung der Trachea durch einen Querfinger unterhalb des linken Arcus costarum und diesem parallel verlaufenden, ca. 4 cm langen Seitenschnitt laparotomiert. Der Oesophagus mit den darauf verlaufenden Vagi wurde stumpf frei präpariert und zwischen zwei Nylonligaturen ca. 0,3 cm unterhalb des Zwerchfells durchtrennt.

Nach der Präparation wurden die Tiere in Rückenlage auf einen Kipptisch eingebunden. Registriert wurde das Pneumogramm (mittels einer Atemflasche, die ebenfalls auf dem Kipptisch fixiert war) und der Trachealseitendruck. Der tote Raum von der Bifurcatio tracheae bis zur Atemflasche betrug ca. 4 ml. Mit dem Versuchsgang wurde einheitlich 3 Stunden nach Injektion des Narkotikums begonnen.

Der Versuchsgang war folgender:

a) Untersuchung der Atmungstätigkeit in verschiedenen Körperlagen: Es wurden zunächst 4 Atemzüge in horizontaler Rückenlage registriert. Anschließend wurden die Tiere in eine Schräglage von 40° mit Kopf nach oben gebracht, und nun wurden ebenfalls 4 Atemzüge registriert. Nach einer Pause von drei Minuten, während der die Atemflasche mit Frischluft durchspült wurde, wurde dieselbe Untersuchung bei Schräglage mit Kopf nach unten vorgenommen. Der Übergang aus Horizontallage in die jeweilige Schräglage dauerte 5–7 Sekunden; die gleiche Zeit verstrich zwischen der Registrierung des letzten Atemzuges in Horizontallage und des ersten Atemzuges in der entsprechenden Schräglage. Damit eventuelle Adaptationsvorgänge nicht stören können, wurde auf strikte Einhaltung dieser Zeiten geachtet.

b) Die Trachealverschlußreaktionen: Zur Charakterisierung der expiratorischen Reaktion (VE) wurden zunächst 3–4 normale Atemzüge registriert und dann die Trachea in der inspiratorischen Atemendlage des 4. bzw. 5. Atemzuges verschlossen. Analog wurde zur Charakterisierung der inspiratorischen Trachealverschlußreaktion (Trachealverschluß in expiratorischer Atemruhelage, VI) vorgegangen.

c) Der Thoraxdruck: Da die hierfür verantwortlichen Rezeptorenfelder noch nicht bekannt sind [2, 4, 12], wurde folgendermaßen vorgegangen: Der Thorax wurde jeweils auf Höhe der 2., 3., 5. Rippe, Schwertfortsatz und 10. Rippe mit einem Gummischlauch zirkulär in drei willkürlich abgestuften, zunehmenden Stärken komprimiert. Jedem Tier wurden also 15 (5×3) Thoraxdrucke angelegt. Registriert wurden die letzten 4 Atemzüge vor (Normalatmung) und die ersten 4 Atemzüge nach Anlegen des Schlauches (Thoraxdruckatmung). Für das Anlegen des Schlauches selbst waren immer 20 Sekunden reserviert. Nach jeder einzelnen Thoraxkompression wurde die Atemflasche während drei Minuten mit Frischluft gespült. Durch dieses systematische Vorgehen bei der Thoraxkompression wird die Wahrscheinlichkeit relativ groß, daß man mit irgend einem dieser Drucke den optimalen, durch Thoraxkompression überhaupt zu erhaltenden Effekt bezüglich inspiratorischer Änderung des Atmungstypus bei noch möglichst großer Ventilation erreicht.

Anschließend wurden jedem Tier die Halsvagi durchtrennt und der ganze Versuchsgang wiederholt.

Im folgenden soll an Hand von einzelnen Registrierungsbeispielen die Art der Auswertung erläutert werden:

Abb. 1 zeigt die Beeinflussung des Atmungstypus durch Lagewechsel. (a: Kopf-Hochlage, b: Kopf-Tiefelage). Die Dauer der Atmungsphasen wird in Prozenten der Dauer des Gesamtatemzuges ausgedrückt, wobei letzterer als 100% angenommen wird. Für Atmungsfrequenz, Atemzugs- und Atemminutenvolumen werden die Werte in Horizontallage als 100% angenommen.

Abb. 2 zeigt ein typisches Beispiel für eine expiratorische (VE) und eine inspiratorische (VI) Trachealverschlußreaktion. VI und VE werden ausgedrückt in Prozenten der normalen entsprechenden Phasendauer, wobei diese als 100% angenommen wird [11].

Abb. 3 zeigt die Beeinflussung der Atmungstätigkeit durch Thoraxdruck; N: normaler Atmungstyp, Td: Atmungstyp bei einem der 15 zirkulären Thoraxkompressionen. Bezüglich der Auswertung wird hier gleich vorgegangen wie bei der Auswertung der Lageänderungsversuche. Die prozentuale Zu- bzw. eventuelle Abnahme der relativen Inspirationsdauer unter Thoraxdruck wird gegen die Änderung des Minutenvolumens in ein Koordinatensystem aufgetragen.

Ergebnisse und Diskussion

I. Die Charakterisierung der normalen Atmungstätigkeit der drei Gruppen nach relativer Inspirationsdauer, Atmungsfrequenz, Atemzugs- und Atemminutenvolumen ist in Tabelle 1 wiedergegeben. Nach cervicalen Vagotomie sind die gemessenen Atmungsgrößen für alle drei Gruppen praktisch gleich, d. h. das Tiermaterial der drei Gruppen kann in befriedigendem Maße als homogen betrachtet werden. Somit dürfen allfällige Unterschiede zwischen den drei Gruppen vor der cervicalen Vagotomie mit den uns interessierenden Eingriffen (thorakale oder abdominale Vagotomie) in Zusammenhang gebracht werden.

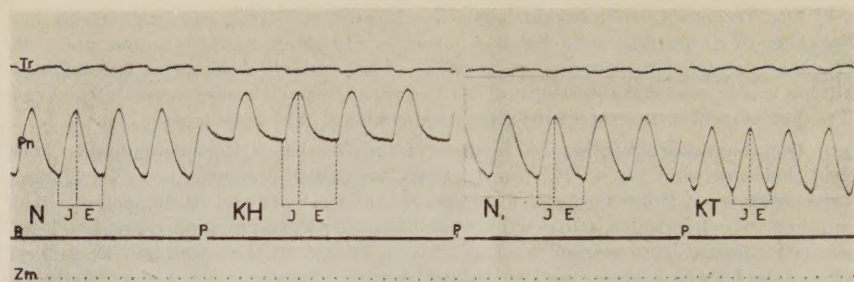


Abb. 1. (Kaninchen vom 26. Februar 1955). Einfluß der Lageänderung auf die Atmungstätigkeit. Registriert wurden – von oben nach unten – Trachealseitendruck (Tr.), Pneumogramm (Pn), Bezugslinie (B) und Zeitmarke (Zm) in $\frac{1}{5}$ Sekunden. Zum jeweiligen Lagewechsel wurden ca. 5–7 Sekunden (P) benötigt, zwischen der Untersuchung bei Kopf-Hochlage und Kopf-Tieflage wurde eine Pause von 3 Minuten (P_1) eingeschaltet.

N: Normalatmung in Horizontallage: relative Inspirationsdauer (J): 39%; relative Expirationsdauer (E): 61%; Frequenz pro Minute (Fr): 80; Atemzugsvolumen (V_{AZ}): 12,2 ml; Atemminutenvolumen ($V_{Min.}$): 972 ml.

KH: Atmungstypus bei Kopf-Hochlage: J: 31% (–8%); E: 69% (+8%); Fr: 67 (–15%); V_{AZ} : 9,0 ml (–26%); $V_{Min.}$: 605 ml (–38%).

N_1 : J: 38,5%; E: 61,5%; Fr: 79; V_{AZ} : 11,5 ml; $V_{Min.}$: 910 ml.

KT: Atmungstypus bei Kopf-Tieflage: J: 44,5% (+6%); E: 55,5% (–6%); Fr: 92 (+16%); V_{AZ} : 11,6 ml (+1%); $V_{Min.}$: 1075 ml (+18,5%).

Beachte, wie bei Kopf-Hochlage die inspiratorische Atemendlage sich um +3,3 ml, die expiratorische Atemruhelage sich um +6,6 ml verschiebt. Bei Kopf-Tieflage verschiebt sich die inspiratorische Atemendlage um –2,4 ml, die expiratorische Atemruhelage um –2,5 ml.

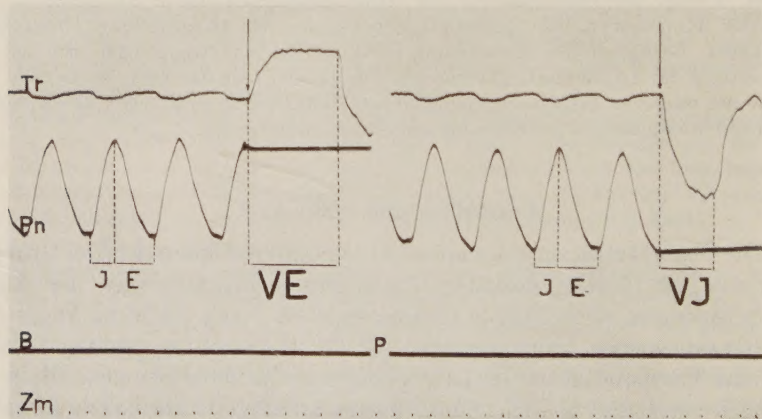


Abb. 2. (Kaninchen vom 26. Februar 1955) Trachealverschlußreaktionen. Registriert wurde wie in Abb. 1. Bei $\downarrow$ wird die Trachea verschlossen und die Phasenverlängerung gemessen. VE beträgt in diesem Beispiel +121%; VJ +133%.

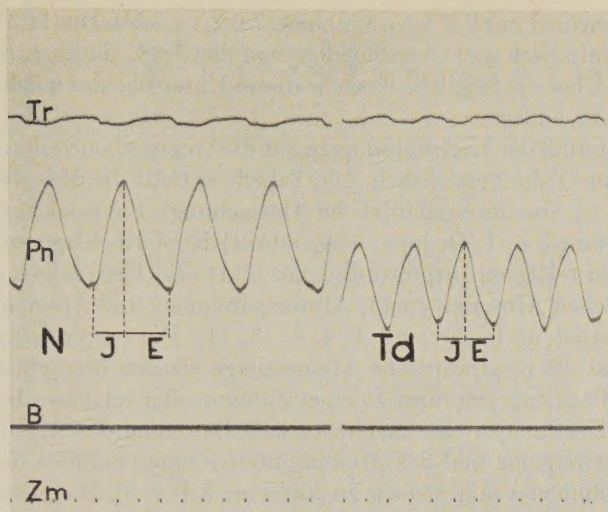


Abb. 3. (Kaninchen vom 26. Februar 1955). Beispiel für die Beeinflussung der Atmungstätigkeit durch einen der 15 Thoraxdrucke (Td). Registriert wurde wie in Abb. 1.

N: J: 39,5%; E: 60,5%; Fr: 86; V_{AZ} : 10,7 ml; $V_{Min.}$: 920 ml.

Td: J: 49,0% (+9,5%); E: 51,0% (-9,5%); Fr: 124 (+44%); V_{AZ} : 8,6 ml (-19,5%); $V_{Min.}$: 1065 (+16%).

An der Spontanatmung (Tab. 1) konnten keine sicheren Unterschiede festgestellt werden, mit einer Ausnahme: der relativen Inspirationsdauer in der dritten Gruppe. Sie ist gegenüber der Atmung nach cervicaler Vagotomie um 14,3% ($\pm 4,5^1$) verkürzt. In der ersten und zweiten Gruppe beträgt

Tabelle 1

Normalatmung. Mittelwerte sämtlicher Tiere der betreffenden Gruppe ($\pm$ durchschnittliche Abweichung)

	1. Gruppe		2. Gruppe		3. Gruppe	
	Vagi intakt	cervicale Vagot.	thorak. Vagot.	cervicale Vagot.	abdom. Vagot.	cervicale Vagot.
Rel. Inspirations- dauer (in % der Dauer des Gesamt- atemzuges)	44,8 ($\pm 2,8$)	54,0 ($\pm 3,9$)	47,1 ($\pm 1,2$)	54,1 ($\pm 4,1$)	41,2 ($\pm 3,8$)	55,5 ($\pm 3,8$)
Atmungsfrequenz pro Minute	77 (± 14)	40 $\pm (7)$	81 (± 7)	41 (± 6)	61 (± 14)	38 (± 8)
Atemzugsvolumen in ml	11,0 ($\pm 0,9$)	20,2 ($\pm 2,9$)	10,4 ($\pm 1,1$)	19,0 ($\pm 3,2$)	11,2 ($\pm 1,7$)	16,9 ($\pm 2,9$)
Atemminutenvolu- men in ml	823 (± 101)	794 (± 150)	833 (± 110)	768 (± 137)	658 (± 126)	617 (± 106)

dieser Unterschied nur 9,2% ($\pm 3,5^1$) bzw. 7,0% ($\pm 3,5^1$). Die 14,3% sind von den 9,2% statistisch nicht verschieden, von den 7,0% dagegen mit einem P von $<0,01$. Über die mögliche Ursache dieses Unterschiedes möchten wir uns zur Zeit nicht äußern.

II. Der Einfluß der Lageänderungen auf die von uns beurteilten Atmungsgrößen ist aus Tab. 2 ersichtlich. Die Tabelle enthält die Mittelwerte sämtlicher Tiere ($\pm$ die durchschnittliche Abweichung). Sie zeigt zunächst, daß normalerweise (d. h. 1. Gruppe; Vagi intakt) Kopf-Hochlage zu deutlicher Abnahme der relativen Inspirationsdauer führt (die Tiere zeigen einen mehr expiratorischen Atmungstypus); Atmungsfrequenz und Atemzugsvolumen nehmen deutlich ab [siehe auch 1, 4, 6, 13, 14]. Die expiratorische Atemruhelage und die inspiratorische Atemendlage werden beträchtlich erhöht.

Kopf-Tiefelage dagegen führt zu einer Zunahme der relativen Inspirationsdauer (die Tiere zeigen eine inspiratorische Betonung des Atmungstypus); die Atmungsfrequenz und das Atemminutenvolumen nehmen deutlich, das Atemzugsvolumen weniger stark zu [siehe auch 1, 4, 5]. Die expiratorische Atemruhelage und die inspiratorische Atemendlage nehmen etwas ab.

Das eben für die Norm geschilderte Verhalten finden wir auch nach abdominaler und thorakaler Vagotomie wieder, mit einer Ausnahme: die Atemlage. Die inspiratorische Atemendlage nämlich erfährt durch die Kopf-Hochlagerung nach abdominaler und nach thorakaler Vagotomie eine deutlich stärkere Zunahme als bei vollständig intakten Vagi. 5,0 ml bzw. 5,1 ml sind von den 2,7 ml je mit einem P $<0,01$ statistisch signifikant verschieden. Eine gleichsinnige Verschiedenheit findet sich für die expiratorische Atemruhelage. 7,2 ml bzw. 7,4 ml sind von 5,0 ml mit einem P $<0,05$ bzw. $<0,01$ verschieden.

III. Das Verhalten der Trachealverschlußreaktion ist aus Tab. 3 ersichtlich. Die Tabelle zeigt, daß sowohl die inspiratorische als auch die expiratorische Trachealverschlußreaktion weder durch abdominale noch durch thorakale Vagotomie verändert wird. Nach cervicaler Vagotomie dagegen verschwindet sie – erwartungsgemäß – praktisch vollständig.

IV. Durch Thoraxkompression wird bekanntlich die Atmungstätigkeit in typischer Weise verändert. Die relative Inspirationsdauer nimmt zu und die relative Expirationsdauer entsprechend ab, d. h. der Atmungstyp erfährt eine inspiratorische Betonung. Die Atmungsfrequenz nimmt zu. Das Atemzugsvolumen kann bei zu starker mechanischer Behinderung abnehmen [Näheres siehe 2, 4, 12]. Das beschriebene Verhalten ist typisch für Kompression im oberen und mittleren Bereich des Thorax. Wird dagegen unterhalb des Schwertfortsatzes komprimiert, so kann der Atmungstyp in umgekehrter Richtung verändert werden. Die relative Expirationsdauer nimmt dann zu:

¹ Als Streuungsmaß wird in dieser ganzen Arbeit immer die durchschnittliche Abweichung angegeben, welche als arithmetischer Durchschnitt der absoluten Differenzen zwischen den Einzelwerten und dem Mittelwert berechnet wird.

Tabelle 2

Einfluß der Lageänderung auf die Atmungsstätigkeit. Mittelwerte sämtlicher Tiere ($\pm$ durchschnittliche Abweichung).

	Kopf-Hochlage						Kopf-Tiefelage					
	1. Gruppe			2. Gruppe			3. Gruppe			1. Gruppe		
	Vagi intakt	cervicale Vagot.	thorak. Vagot.	cervicale Vagot.	abdom. Vagot.	cervicale Vagot.	Vagi intakt	cervicale Vagot.	thorak. Vagot.	cervicale Vagot.	abdom. Vagot.	cervicale Vagot.
Änderung der relativen Inspir.-Dauer (in % der Atemzugsdauer)	-8,4 ($\pm 2,0$)	-2,2 ($\pm 1,5$)	-5,9 ($\pm 1,3$)	-1,2 ($\pm 2,0$)	-7,1 ($\pm 2,4$)	-1,8 ($\pm 1,0$)	+5,2 ($\pm 1,7$)	-1,8 ($\pm 1,1$)	+5,8 ($\pm 2,1$)	-1,0 ($\pm 1,0$)	+5,1 ($\pm 1,6$)	-1,8 ($\pm 0,7$)
Änderung der Atmungsfrequenz pro Minute	-8 (± 4)	+3 (± 1)	-7 (± 4)	+3 (± 2)	-5 (± 3)	+2 (± 2)	+7 (± 5)	+2 (± 1)	+9 (± 3)	+2 (± 1)	+5 (± 4)	+2 (± 1)
in % der Normalfrequenz	-9,7 ($\pm 4,2$)	+7,8 ($\pm 3,7$)	9,1 ($\pm 4,8$)	+8,7 ($\pm 3,8$)	-7,5 ($\pm 5,0$)	+7,0 ($\pm 3,9$)	+9,5 ($\pm 7,8$)	+7,4 ($\pm 4,2$)	+11,7 ($\pm 3,4$)	+5,8 ($\pm 2,8$)	+8,0 ($\pm 6,4$)	+5,9 ($\pm 3,4$)
Änderung des Atemzugsvolumens in ml	-2,2 ($\pm 1,0$)	-8,1 ($\pm 2,5$)	-2,1 ($\pm 0,8$)	-7,3 ($\pm 1,5$)	-2,2 ($\pm 0,8$)	-7,0 ($\pm 1,7$)	+0,4 ($\pm 0,3$)	+2,9 ($\pm 1,4$)	-0,3 ($\pm 0,2$)	+2,8 ($\pm 1,0$)	+0,5 ($\pm 0,4$)	+2,7 ($\pm 1,3$)
in % des normalen Atemzugsvolumens	-18,1 ($\pm 5,3$)	-38,9 ($\pm 4,3$)	-21,7 ($\pm 7,4$)	-40,9 ($\pm 3,2$)	-17,4 ($\pm 6,7$)	-40,5 ($\pm 5,2$)	+3,9 ($\pm 3,1$)	+12,6 ($\pm 9,2$)	+3,5 ($\pm 2,5$)	+16,1 ($\pm 5,3$)	+4,2 ($\pm 3,8$)	+15,2 ($\pm 5,6$)
Änderung des Atemminutenvol. in ml	-228 (± 75)	-259 (± 70)	-214 (± 73)	-246 (± 40)	-165 (± 55)	-221 (± 73)	+100 (± 52)	+146 (± 75)	+101 (± 43)	+164 (± 56)	+86 (± 60)	+129 (± 43)
in % des normalen Atemminutenvol.	-27,0 ($\pm 6,0$)	-34,5 ($\pm 4,8$)	-27,5 ($\pm 7,8$)	-35,7 ($\pm 2,5$)	-24,2 ($\pm 8,2$)	-36,2 ($\pm 6,3$)	+14,5 ($\pm 8,4$)	+19,7 ($\pm 6,9$)	+12,9 ($\pm 5,6$)	+22,6 ($\pm 6,8$)	+12,7 ($\pm 6,2$)	+21,4 ($\pm 7,3$)
Verschiebung der inspiratorischen Atemendlage in ml	+2,7 ($\pm 1,0$)	-0,3 ($\pm 1,6$)	+5,0 ($\pm 1,8$)	+0,8 ($\pm 1,5$)	+5,1 ($\pm 1,0$)	+0,9 ($\pm 1,8$)	-3,1 ($\pm 2,0$)	-4,2 ($\pm 1,4$)	-2,6 ($\pm 0,9$)	-3,8 ($\pm 0,9$)	-2,3 ($\pm 1,7$)	-2,6 ($\pm 1,4$)
Verschiebung der expiratorischen Atemruhelage in ml	+5,0 ($\pm 1,6$)	+7,7 ($\pm 1,3$)	+7,2 ($\pm 1,8$)	+8,1 ($\pm 1,9$)	+7,4 ($\pm 1,2$)	+7,9 ($\pm 1,2$)	-3,3 ($\pm 1,7$)	-6,9 ($\pm 2,9$)	-2,9 ($\pm 0,9$)	-6,8 ($\pm 1,3$)	-2,9 ($\pm 1,8$)	-5,1 ($\pm 1,5$)

Tabelle 3
Trachealverschlußreaktionen

	1. Gruppe		2. Gruppe		3. Gruppe	
	Vagi intakt	cervicale Vagot.	thorak. Vagot.	cervicale Vagot.	abdom. Vagot.	cervicale Vagot.
VI in % der ent- sprechenden Atmungsphase	+145,3 ($\pm 27,8$)	+0,7 ($\pm 2,9$)	+151,0 ($\pm 32,8$)	-1,1 ($\pm 3,5$)	+139,9 ($\pm 24,1$)	-1,2 ($\pm 3,1$)
VE in % der ent- sprechenden Atmungsphase	+139,0 ($\pm 30,5$)	+2,2 ($\pm 4,7$)	+142,0 ($\pm 31,8$)	+2,9 ($\pm 3,1$)	+134,0 ($\pm 23,4$)	+2,6 ($\pm 3,5$)

die relative Inspirationsdauer sowie die Atmungsfrequenz und das Atemzugsvolumen nehmen ab. Dieser expiratorische Atmungseffekt ist jedoch schwieriger auszulösen als der inspiratorische; er persistiert partiell auch nach cervicaler Vagotomie und könnte damit zum Teil auch auf einer mechanischen Zwerchfellentspannung beruhen.

Die durch Thoraxkompression erhaltenen Atmungsänderungen sind in Abb. 4 dargestellt. In Abb. 4a (Gruppe 1), 4b (Gruppe 2) und 4c (Gruppe 3) ist von jedem der 15 bei jedem Tier durchgeführten (d. h. insgesamt ca. 150) Thoraxdrucke aufgetragen, in welchem Maße er die relative Inspirationsdauer (Abszisse) und das Atemminutenvolumen (Ordinate) verändert hat. Nun wird zwar die Verlängerung der relativen Inspirationsdauer um so ausgesprochener, je stärker der Thorax an geeigneter Stelle [4] gedrückt wird; gleichzeitig aber werden die Thoraxexkursionen mechanisch zunehmend behindert [Näheres siehe 4]. Wir definieren nun, daß uns nur interessieren soll, was an *inspiratorischer* Aktivierung optimal zu erhalten ist, d. h. an Verlängerung der relativen Inspirationsdauer *und* an Zunahme des Atemminutenvolumens. Wir berechnen dieses Optimum für jede Gruppe aus den Werten, welche die relative Inspirationsdauer und gleichzeitig das Atemminutenvolumen um mindestens je 5% verlängert bzw. erhöht haben (in den Abb. 4a, b und c im gestrichelten Sektor gelegen). In Abb. 4a erfüllen 54, in Abb. 4b 59 und in Abb. 4c 67 Punkte diese Voraussetzung. Der aus diesen Punkten errechnete Mittelwert ist als Kreuz eingetragen, dessen Koordinaten in Abb. 4a 10,0/17,5, in Abb. 4b 9,4/18,9 und in Abb. 4c 11,2/19,2 sind. Die Lage dieses Kreuzes ist somit praktisch gleich; d. h. die Bedingungen, inspiratorisch aktivierende Thoraxdrucke zu erhalten, sind nach abdominaler oder thorakaler Vagotomie gleich wie bei intakten Vagi.

Abb. 4d zeigt am Beispiel der Gruppe 1, daß nach cervicaler Vagotomie praktisch keine inspiratorische Aktivierung mehr zu erhalten ist. Für die Gruppen 2 und 3 wurde dasselbe Bild erhalten.

Nach Vagotomie nimmt bei der Thoraxkompression das Atemzugsvolumen im allgemeinen ab. Wird jedoch auf Höhe der obersten Rippen komprimiert, so kann es etwas zunehmen. Die Atmungsfrequenz kann ebenfalls zunehmen.



Abb. 4. Legende siehe Text.

Wenn wir mit den Ergebnissen der Tab. 1, 2, 3 und der Abb. 4 den Vergleich so durchführen, wie dies in der Einleitung zu unserer Methodik (siehe Seite 319) festgelegt ist, so kommen wir zu den in Tab. 4 dargestellten Schlußfolgerungen. Demnach ist für alle von uns untersuchten vagalen Effekte der Lungen- und Brustvagus verantwortlich mit einer Ausnahme: Diejenigen vagalen Einflüsse, welche bei der Kopf-Hochlage auf eine Erniedrigung der Atemlage tendieren, hängen mit dem Abdominalvagus zusammen.

Tabelle 4

Beeinflußbarkeit der Atmung		Art der Änderung am cervical vagotomierten Tier	Vagusreflex	
durch	beurteilt an		tendiert nach	verantwortlich
Kopf-Hochlage	Rel. Inspir.-Dauer*	Abnahme	Abnahme	Lungen- und Brustvagus
	Atmungsfrequenz	Zunahme	Abnahme	Lungen- und Brustvagus
	Atemzugsvolumen	Abnahme	Zunahme	Lungen- und Brustvagus
	Atemminutenvol.	Abnahme	Zunahme	Lungen- und Brustvagus
	Insp. Atemendlage	keine	Zunahme und Abnahme	Lungen- und Brustvagus
	Exsp. Atemruhel.	Zunahme	Abnahme	Abdominalvagus
Kopf-Tief Lage	Rel. Inspir.-Dauer*	Abnahme	Zunahme	Lungen- und Brustvagus
	Atmungsfrequenz	Zunahme	Zunahme	Lungen- und Brustvagus
	Atemzugsvolumen	Zunahme	Abnahme	Lungen- und Brustvagus
	Atemminutenvol.	Zunahme	Abnahme	Lungen- und Brustvagus
	Insp. Atemendlage	Abnahme	Zun. (?)	Lungen- und Brustvagus (?)
	Exsp. Atemruhel.	Abnahme	Zunahme	Lungen- und Brustvagus
Tracheal-verschluß	Dauer d. Exspirat.	keine	Zunahme	Lungen- und Brustvagus
	Dauer d. Inspirat.	keine	Zunahme	Lungen- und Brustvagus
Inspirat. aktiv.	Rel. Insp.-Dauer*	keine	Zunahme	Lungen- und Brustvagus
Thorax-druck	Atmungsfrequenz	Zunahme	Zunahme	Lungen- und Brustvagus
	Atemzugsvolumen	Abnahme	Abnahme	Lungen- und Brustvagus
	Atemminutenvol.	Abnahme	Zunahme	Lungen- und Brustvagus

* Als relative Inspirationsdauer wird in dieser ganzen Arbeit der prozentuale Anteil der Inspiration an der gesamten Atemzugsdauer angegeben.

Wenn nach Tabelle 2 bei den cervical vagotomierten Tieren die inspiratorische Atemendlage durch Kopf-Hochlagerung keine Änderung erfährt, am Tier mit intakten Vagi dagegen eine Zunahme, so besagt das zunächst, daß vagale Komponenten vorhanden sind, welche auf eine Zunahme tendieren. Wenn aber diese Zunahme nach thorakaler Vagotomie sogar noch stärker ist, so muß der Zwerchfell- oder/und der abdominale Vagus Einflüsse geltend gemacht haben, welche dieser Zunahme entgegenwirken, sich also im Sinne einer Abnahme auswirken. Demnach ist die bei intakten Vagi

tatsächlich auftretende Änderung der Atemlage als Resultante zweier gegensinniger vagaler Einflüsse aufzufassen, bei der in unserer speziellen Versuchsanordnung die Zunahmetendenzen überwiegen. Da sich die auf Abnahme tendierenden Einflüsse auch nach abdominaler Vagotomie allein in gleichem Maße geltend machen, müssen sie mit dem Abdominalvagus in Zusammenhang gebracht werden. Worin dieser Zusammenhang letzten Endes besteht, können wir vorläufig nicht sagen.

Zusammenfassung

Die Änderungen, welche die Atmungstätigkeit des Kaninchens erfährt durch:

- a) Änderung der Körperstellung
- b) Verschuß der Atemwege und
- c) äußeren Druck auf den Thorax,

wird quantitativ charakterisiert. Durch Vergleich dieser Änderungen vor und nach Vagotomie wird festgestellt, inwiefern sie vagusabhängig sind.

Von den als vagal erkannten Effekten wird untersucht, inwiefern sie durch den Lungen- und Brustvagus, den Zwerchfellvagus oder den Abdominalvagus verursacht sind. Dabei erwiesen sich fast alle beurteilten Effekte als ausschließlich vom Lungen- und Brustvagus abhängig. Einzig bei der infolge Kopf-Hochlagerung auftretenden Änderung der Atemlage ist auch der Abdominalvagus beteiligt.

Summary

The changes, which the respiratory activity of rabbits undergoes due to

- a) change in body position
- b) external pressure on the thorax
- c) occlusion of the respiratory tract

were delineated quantitatively. By comparing the changes before and after vagotomy it could be determined to what extent they were dependent upon the vagus nerves.

Those effects which could be classified as vagal were further examined for their relationship to the lung- and chest-, to the diaphragm- and to the abdominal vagi. It was found that most changes were dependent almost exclusively on the lung- and chest-vagus. The abdominal vagus was involved only in the change of the respiratory position due to elevation of the head.

Die Arbeit wurde ausgeführt auf Anregung und unter Leitung von Herrn Prof. Dr. med. K. Bucher.

1. *Blumberg R.*: Über den Einfluß der Schwere auf Kreislauf und Atmung. *Pflügers Arch.* **27**, 467–478 (1885).
2. *Bucher K.*: Über den Wirkungsmechanismus des Morphins auf die Atmung. *Helv. Physiol. Acta* **2**, 5–34 (1944).
3. *Bucher K.*: Ursache der Head'schen Trachealverschußreaktion. *Helv. Physiol. Acta* **5**, 147–153 (1947).

4. *Bucher K.*: Die reflektorische Beeinflußbarkeit der Lungenatmung. Springer-Verlag. Wien 1952.
5. *Gordh T.*: Postural Circulatory and Respiratory Changes during Ether and intravenous Anesthesia. *Acta chirurg. scand.* **92**, Suppl. 102 (1945).
6. *Grego B.*: Sulla insorgenza del riflesso respiratorio ortostatico negli animali durante lo sviluppo corporeo. *Arch. fisiol. (ital.)* **53**, 276-296 (1953).
7. *Head H.*: On the Regulation of Respiration. Part I. Experimental. *J. Physiol.* **10**, 1-70 (1889).
8. *Head H.*: On the Regulation of Respiration. Part II. Theoretical. *J. Physiol.* **10**, 279-290 (1889).
9. *Hess W. R.*: Die Regulierung der Atmung. G. Thieme Verlag. Leipzig 1931.
10. *Jacot C.*: Etude du mécanisme du reflexe de Head au cours de l'expiration. *Helv. Physiol. Acta* **8**, 517-524 (1950).
11. *Lanz U.*: Zum Mechanismus der Head'schen Trachealverschlußreaktion. *Helv. Physiol. Acta* **10**, 62-67 (1952).
12. *Meier R.* und *Bucher K.*: Über atmungsregulierende Systeme in der Pons. *Helv. Physiol. Acta* **2**, 35-52 (1944).
13. *Moruzzi G.*: Le rôle du réglage vagal dans les modifications posturales de la respiration. *Arch. Néerl. Physiol.* **28**, 385-398 (1947).
14. *Owe-Larsson A.*: Changes in Respiration when Changing to Different Postures. *Acta Physiol. scand.* **6**, 324-332 (1943).

